

**ЛІСОВІДТВОРЕННЯ, АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ,  
ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ**

УДК 630.266:630.63(575.3)

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.83>



**С. В. СИДОРЕНКО<sup>1</sup>, В. О. КОРСОВЕЦЬКИЙ<sup>1</sup>, С. Г. СИДОРЕНКО<sup>1</sup>, Г. Б. ГЛАДУН<sup>2</sup>**  
**СЕЗОННЕ ТА ДОБОВЕ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ЗАТІНЕННЯ**  
**В ПРИУЗЛІСНІЙ ЧАСТИНІ ЩІЛЬНИХ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ СМУГ**

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького  
<sup>2</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

Лісові смуги сприяють підвищенню загальної продуктивності аграрних угідь. Водночас на приузлісних ділянках полів смуг утворюються несприятливі умови для росту й розвитку сільськогосподарських культур через затінення кронами дерев. Мета роботи полягала у визначенні добових і сезонних змін інтенсивності освітлення та формування тіні залежно від характеристик полезахисних лісових смуг (ПЛС) і виявленні впливу змін світлового режиму приузлісних ділянок на формування фітомаси світлолюбних сільськогосподарських культур. Під час досліджень використано теоретичні розрахунки параметрів сонячного випромінювання, виконані для типових основних і допоміжних полезахисних лісових смуг щільної конструкції. Теоретичні розрахунки порівняли з польовими даними розподілу фітомаси кукурудзи на полі. Для типових щільних ПЛС Лівобережного Лісостепу встановлено показники сезонної та добової динаміки формування тіні від дерев і ступінь недоотримання поверхнею поля сонячної енергії залежно від відстані до полезахисних смуг та їхнього просторового розміщення. Встановлено, що затінення ПЛС мало суттєвий вплив культуру на відстані 1,2–1,5 висоти дерев у полезахисній смузі. Протяжність зони затінення залежала від захисної висоти деревостану та просторового розміщення ПЛС: найбільший вплив затінення зафіксовано на північному боці лісової смуги, найменший – на південному.

Ключові слова: полезахисні смуги, затінення, зона пригнічення, світло, тінь, енергія, висота, конкуренція, фітомаса.

**Вступ.** Лісові смуги створюють сприятливі умови для підвищення продуктивності аграрних угідь. Проте на прилеглих до їхніх узлісь ділянках сільськогосподарських земель культури зазнають негативного впливу внаслідок затінення кронами дерев. Територія, яка знаходиться поблизу лісової смуги, займає певну частину площі посівів (Polishchuk 2009). З північного боку смуги виникає конкуренція між деревами та рослинами поля не лише за ґрунтову вологу та поживні елементи (N, P, K), але й за світло. Ділянки поля (приузлісні, або присмугові частини полезахисного насадження) отримали назву «зона пригнічення сільськогосподарських культур» (Kowalchuk & Jong 1995, Jørgensen 2009, Abdalla & Fangama 2015, Mayrinck et al. 2019, Sydorenko 2019). Аграрії України називають такі ділянки «депресивною зоною», на дослідження якої спрямовані значні зусилля (Margaylik & Kosumbekov 1976, Nadein 2005, Qadamov & Ikromov 2015, Manaenkov & Abakumova 2015). Напрацювання певною мірою стосувалися архітекtonіки кореневих систем (Yascheritsina & Bondarenko 1988, Abakumova & Trubakova 2017) і фітосанітарного стану прилеглих полів (Nadein 2005). Закордонні дослідники, зі свого боку, називали ці ділянки «competition zone» – зоною конкуренції (Onyewotu et al. 1994, Mize et al. 2008, Mayrinck et al. 2019).

Конкуренцію деревних рослин із сільськогосподарськими культурами за вологу та поживні речовини досліджували ще в минулому сторіччі (Bodrov 1937, Vysotsky 1983). Водночас особливості впливу тіні, яку формують лісові смугами, та розподіл сонячної енергії на приузлісних ділянках поля лишаються недостатньо вивченими.

Екологічні умови зони пригнічення відзначаються гіршим освітленням, застоєм повітряних мас та іншими негативними проявами. Сукупно вони створюють у теплий вегетаційний період «ефект теплиці», що негативно позначається на розвитку сільськогосподарських культур. Недобір рослинницької продукції в цій зоні нерідко становить 40–60 %, що загалом знижує меліоративну ефективність захисних лісових насаджень (Godunov & Godunova 2008).

Від кількості сонячної енергії, що потрапляє на земну поверхню, залежить розподіл тепла й вологи, швидкість сходження снігового покриву тощо. Закордонні вчені систематично досліджують конкурентну взаємодію деревних і сільськогосподарських культур (Dupraz et al. 2019) у контексті агролісівництва, коли розглядають вплив поодиноких дерев на формування мікроклімату за різних систем ведення господарства. Наприклад, розроблено математичні моделі взаємодії дерев і сільськогосподарських культур для пояснення механізмів конкуренції в системах «дерево – дерево» та «дерево – сільськогосподарські культури» за світло, воду та поживні речовини (Dupraz et al. 2019).

Канадськими вченими (Morhart et al. 2019) досліджено формування тіні поодинокими деревами у різних агролісівничих системах залежно від ажурності та інших структурних параметрів крони. Для цього використано LIDAR зйомку. Векторні моделі дерев побудовано на основі 3D-хмар точок, зібраних за допомогою наземного лазерного сканування. Змодельовано тіні від дерев та кількісно оцінено втрати сонячної енергії. Отримані результати дали змогу надалі ефективніше планувати розміщення дерев на площі з урахуванням очікуваного зменшення світла та вибирати найкращі комбінації дерев та/або сільськогосподарських культур.

Водночас на теренах Європи про особливості часового та просторового розподілу сонячної енергії на окремих ділянках поля відомо набагато менше. Отримання такої інформації дало би змогу врахувати потреби культурних рослин і варіювати їхнє розміщення у зонах пригнічення, де наявний фактор затінення. Моделювання світлового режиму на прилеглих до захисних лісових смуг ділянках упродовж вегетаційного сезону є важливим для раціонального вибору режимів господарювання на різних ділянках поля. Результати досліджень дадуть можливість оптимізувати використання різних за фізіологічними властивостями монокультур на полях сівозмін, зокрема звернути особливу увагу на висівання в зоні пригнічення стійких до зазначених впливів видів рослин для кормових чи інших господарських потреб.

*Метою дослідження* є виявлення особливостей добової та сезонної динаміки освітлення й формування тіні залежно від лісівничо-меліоративних характеристик полезахисних лісових смуг, а також оцінювання впливу змін світлового режиму приузлісних ділянок на формування фітомаси світлолюбних сільськогосподарських культур.

**Матеріали й методи.** Під час досліджень використано теоретичні розрахунки параметрів сонячного випромінювання з урахуванням таких показників, як регіон дослідження, добова та сезонна динаміка інтенсивності сонячного випромінювання (Gordeev & Pridorogin 2017). Для розрахунків використано типове просторове розміщення основних (із південного заходу на північний схід) та допоміжних (із заходу на схід) полезахисних лісових смуг в умовах Лівобережного Лісостепу і враховано їхні лісівничі й таксаційні характеристики. Зміни у світловому режимі внаслідок бар'єрної дії ПЛС проаналізовано через зміни фітомаси кукурудзи (*Zea mais* L.) залежно від відстані до полезахисного насадження. Кукурудза розвивається в умовах порівняно високих температур, вимагає багато світла, споживає протягом вегетації багато мінеральних речовин.

Зразки фітомаси кукурудзи відбирали на відстані 8, 12, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 60, 90, 120 метрів від ПЛС, причому точки замірів відбирали за різкими змінами довжини та морфології пагонів кукурудзи на облікових ділянках 2 м<sup>2</sup>. Початковою точкою відмежування зони пригнічення був край вертикальної проєкції крони. На облікових площадках заміряли висоту всіх рослин, визначали їхню кількість, зрізали та зважували у сирому вигляді. Із загальної маси рослин відбирали середні зразки (200 г), висушували в сушильній шафі за температури 105 °С впродовж 10 годин і повторно зважували. Показник фітомаси перераховували на облікову ділянку та на 1 га (Pavlovskiy et al. 1985).

За дослідженнями (Sydorenko & Sydorenko 2019), у Лівобережному Лісостепу полезахисні лісові смуги переважно мають щільні конструкції (частка просвітів у ПЛС – від 2,0 до 12,9 %), їхній вік становить 55–74 роки, діаметр – 21,0–28,4 см, середня висота –

20,4 м. Зважаючи на це, в розрахунках використано модель ПЛС, що мають щільну конструкцію, середню висоту 20 м і типове просторове розміщення: з Пд-Зх до Пн-Сх (основні ПЛС) та перпендикулярно основним лісовим смугам (допоміжні ПЛС).

**Залежність довжини тіні дерева від його висоти.** Довжина тіні від будь-якого об'єкта залежить від висоти самого об'єкта й висоти сонця над горизонтом. Оскільки промені розповсюджуються прямолінійно, а стовбур із поверхнею землі утворюють прямий кут або близький до прямого (за умови, що ділянка має нахил  $0^\circ$ ), компоненти системи «поверхня землі – стовбур – сонячні промені» утворюють прямокутний трикутник. Стовбур і поверхня землі (тінь) відповідно є катетами, а сонячні промені – гіпотенузою (рис. 1). У такому випадку розрахунки з великим ступенем достовірності можна проводити за формулою (1) (Bevz et al. 1972):

$$L = \operatorname{ctg} \alpha \times H, \quad (1)$$

Де  $L$  – довжина тіні, м;

$H$  – висота дерева, м;

$\alpha$  – висота сонця над горизонтом, градуси.

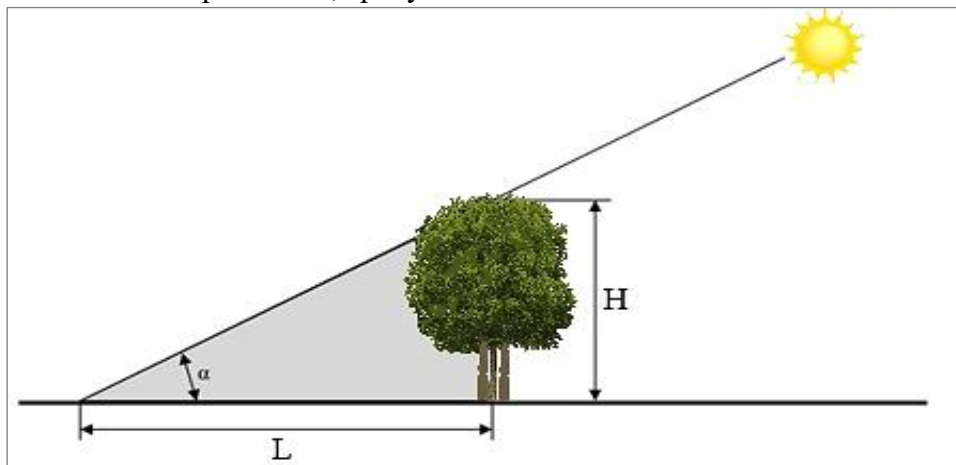


Рис. 1 – Схематичне зображення утворення тіні в лісовій смугі ( $L$  – довжина тіні, м;  $H$  – висота дерев, м;  $\alpha$  – висота сонця над горизонтом)

Для Харкова максимальна висота сонця над горизонтом становить  $63^\circ 26'$  ( $63,44^\circ$ ) 23 червня, мінімальна –  $16^\circ 36'$  ( $16,60^\circ$ ) 22 грудня (ці значення є справедливими для  $\pm 1$ – $2$  днів щодо наведених дат і можуть мати невелику похибку за висотою сонця  $\pm 5'$ , для спрощення розрахунків використано значення  $63^\circ$  та  $16^\circ$  відповідно з кроком в  $1^\circ$ ) (Bortsov & Potovskaya 2013). Для поодинокого дерева добова форма тіні впродовж року є однаковою, змінюватиметься ся лише її розмір. Формування тіні залежить насамперед від висоти стояння сонця, яка має чітку сезонну динаміку (рис. 2).

Кожну секунду на поверхню землі надходить потік сонячного випромінювання. Деякі його частини, наприклад, ультрафіолетове, рентгенівське та частково інфрачервоне випромінювання, поглинають компоненти земної атмосфери. Інші його частини (видиме світло та частково ультрафіолетове й інфрачервоне світло) доходять до поверхні Землі (Feyselson & Krasnokutskaya 1978, Lenobl 1990, Gorchakova 2000, Shatunova 2002, Obratsova 2003), їх можуть поглинати рослини. Загальна кількість енергії, що надходить на рівну поверхню, перпендикулярну сонячним променям, за середньої відстані від Землі до Сонця поза атмосферою становить  $1\,367 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  (сонячна стала) (Gordeev & Pridorogin 2017). У такому випадку частина випромінювання поглинається атмосферою. Кількість енергії, що доходить до землі на рівні моря (на екваторі), –  $1\,020 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

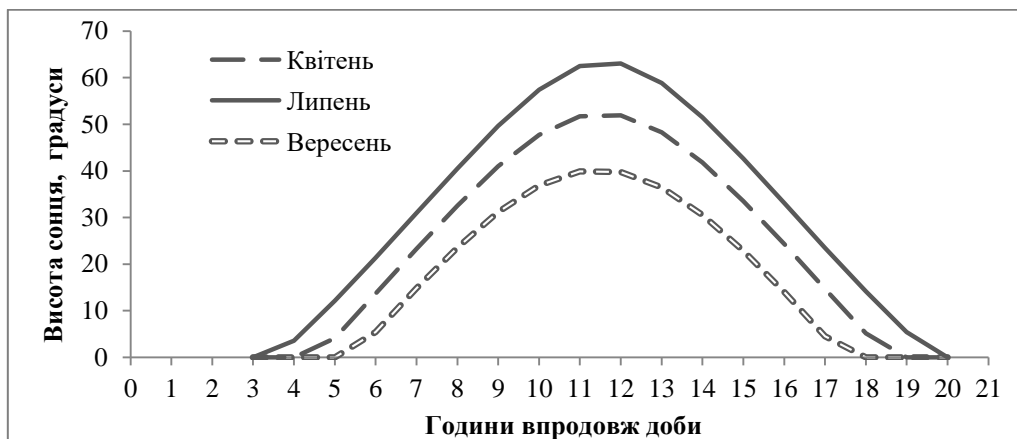


Рис. 2 – Зміни висоти сонця над горизонтом упродовж вегетаційного періоду

Для України цей показник змінюється в межах  $500\text{--}1\,000\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  (Lytovchenko & Strikha 2015). Ця величина дещо варіює, зростаючи влітку та зменшуючись узимку, і залежить від висоти над рівнем моря та сонячної радіації. Надходження сонячної енергії на рівню поверхню прямо пропорційно залежить від висоти сонця над горизонтом, тому змінюється як упродовж доби, так і впродовж року за місяцями.

Кількість енергії, що надходить на певну ділянку впродовж доби, розраховували за формулою (2) (Bevz et al. 1972):

$$E = k \times \sin \alpha, \text{ або } E = k \times \cos(90 - \alpha), \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт  $1\,020\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ;

$\alpha$  – кут нахилу сонця відносно горизонту, градуси.

Прилегла до ПЛС територія на відстані до  $2,5H$  має різну сумарну освітленість, тому наступним кроком було обчислення надходження сонячної енергії на поверхню впродовж дня (для розрахунків використано дані станом на 22 число кожного місяця впродовж вегетаційного сезону). Дані аналізували в нормалізованому стані. Наводили не абсолютні значення надходження сонячної енергії, а відношення енергії (%), що надійшла на поверхню дослідних площадок ( $0,5H$ ;  $1H$ ;  $1,5H$ ;  $2H$ ;  $2,5H$ ), до енергії, що надійшла на відкрите поле.

**Результати та обговорення.** Першочерговим завданням було моделювання довжини тіні для поодинокого дерева залежно від його висоти та висоти сонця над горизонтом (табл. 1, 2). Довжина тіні в такому випадку збільшується пропорційно збільшенню висоти дерева та зменшенню висоти сонця відносно горизонту (див. рис. 1) і залежить від добової та сезонної динаміки висоти сонця (див. табл. 1).

Видимий діаметр сонця дорівнює  $0,5^\circ$ , тому на кожні 10 м на напівтінь припадає 17 см, або 1,7 % довжини тіні. Оскільки атмосфера та навколишнє середовище сильно розсіюють сонячні промені, напівтінь майже не є видимою, тому в подальших розрахунках її не брали до уваги. Зміна висоти сонця впродовж року, як і явище сезонності, виникає через те, що вісь обертання Землі має нахил відносно площини обертання навколо Сонця. Через це кожні півроку Сонце більше освітлює то північну, то південну півкулю, і, відповідно, вище підіймається над горизонтом. Світло є основним кліматичним фактором середовища, що безпосередньо впливає на біофотосинтетичну інтенсивність, динаміку росту рослин, урожайність і якість урожаю, на хід феноритмики, просторове розміщення рослин в агроекологічній системі та на її тепловий і водний режими (Ovsyanikov et al. 2010).

Розрахунки базувалися на типовій моделі основної ПЛС (щільна лісова смуга заввишки 20 м) лісостепової частини Харківської області. Зміни довжини тіні, яку формує основна ПЛС упродовж доби, змодельовано для весняного (III – березень, IV – квітень, V – травень) (рис. 3) і літнього (VI – червень, VII – липень, VIII – серпень) (рис. 4) періодів.

Таблиця 1

**Кількість енергії в кВт, що надходить на 1 м<sup>2</sup> на годину у різні місяці та часи доби**

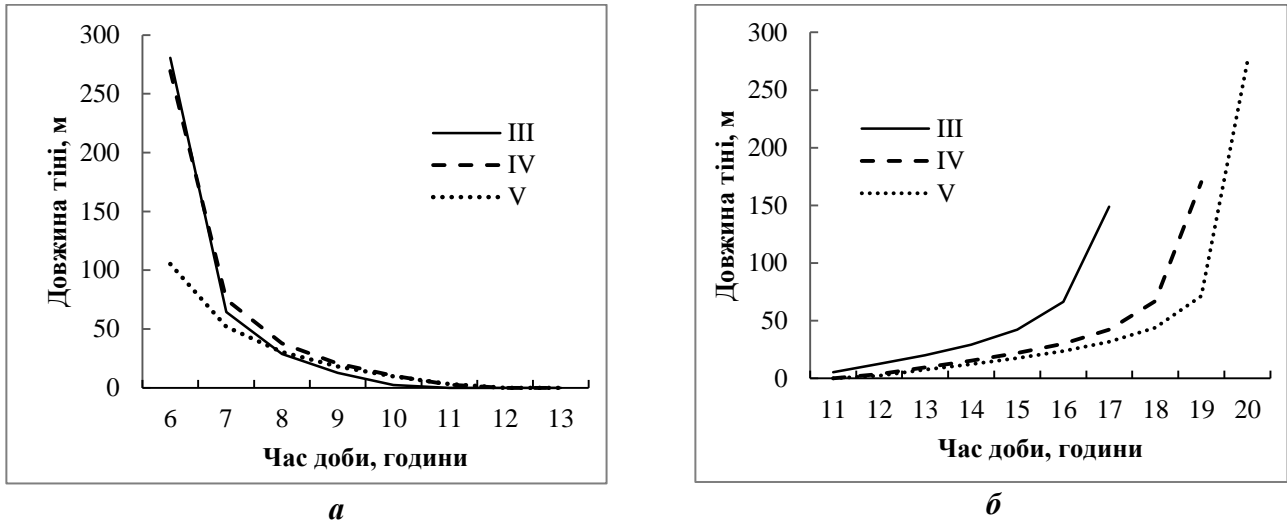
Час доби, години	Місяць							
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	122,39	230,57	24,99	0,00	0,00	0,00
6	0,00	265,10	679,88	772,85	575,69	192,18	0,00	0,00
7	226,09	867,80	1257,70	1338,04	1153,59	795,39	345,57	0,00
8	828,52	1451,85	1816,54	1888,47	1719,37	1383,87	939,24	444,32
9	1377,34	1977,29	2318,82	2386,72	2233,85	1916,43	1469,49	952,86
10	1834,89	2409,53	2729,69	2798,03	2662,25	2356,88	1900,55	1360,09
11	2169,74	2717,65	3021,46	3095,21	2975,60	2676,33	2202,69	1637,29
12	2358,84	2881,70	3174,26	3257,40	3152,46	2851,66	2355,40	1766,19
13	2390,13	2890,42	3177,80	3274,10	3180,69	2871,34	2348,51	1737,47
14	2260,71	2742,51	3031,26	3143,55	3058,13	2734,40	2182,13	1553,60
15	1979,45	2448,46	2745,49	2875,33	2793,46	2449,90	1868,10	1226,34
16	1566,36	2028,32	2339,14	2486,90	2404,69	2037,39	1427,09	779,12
17	1048,43	1511,08	1840,44	2005,29	1918,61	1525,09	889,58	241,44
18	461,50	931,18	1283,56	1463,62	1367,23	947,29	291,94	0,00
19	0,00	328,97	705,68	898,28	789,76	343,65	0,00	0,00
20	0,00	0,00	146,72	347,48	224,17	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця 2

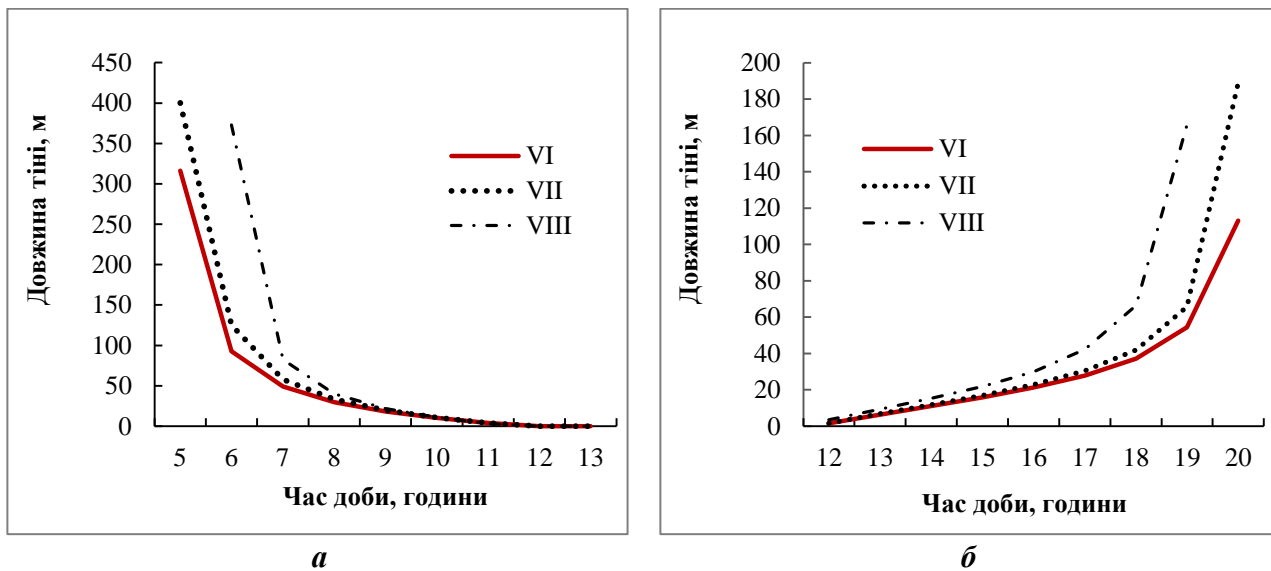
**Формування тіні залежно від висоти дерева та висоти стояння сонця  
(поверхня рівна, нахил 0°)**

Висота сонця, градуси	Середня висота ПЛС, м													
	1	2	5	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	11,4	22,9	57,2	114,3	125,7	137,2	148,6	160,0	171,5	182,9	194,3	205,7	217,2	228,6
10	5,7	11,3	28,4	56,7	62,4	68,1	73,7	79,4	85,1	90,7	96,4	102,1	107,8	113,4
15	3,7	7,5	18,7	37,3	41,1	44,8	48,5	52,3	56,0	59,7	63,4	67,2	70,9	74,6
20	2,7	5,5	13,7	27,5	30,2	33,0	35,7	38,5	41,2	44,0	46,7	49,5	52,2	55,0
25	2,1	4,3	10,7	21,5	23,6	25,7	27,9	30,0	32,2	34,3	36,5	38,6	40,8	42,9
30	1,7	3,5	8,7	17,3	19,1	20,8	22,5	24,3	26,0	27,7	29,4	31,2	32,9	34,6
35	1,4	2,9	7,1	14,3	15,7	17,1	18,6	20,0	21,4	22,9	24,3	25,7	27,1	28,6
40	1,2	2,4	6,0	11,9	13,1	14,3	15,5	16,7	17,9	19,1	20,3	21,5	22,6	23,8
45	1,0	2,0	5,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
50	0,8	1,7	4,2	8,4	9,2	10,1	10,9	11,8	12,6	13,4	14,3	15,1	15,9	16,8
55	0,7	1,4	3,5	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,0
60	0,6	1,2	2,9	5,8	6,4	6,9	7,5	8,1	8,7	9,2	9,8	10,4	11,0	11,6
65	0,5	0,9	2,3	4,7	5,1	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5	7,9	8,4	8,9	9,3

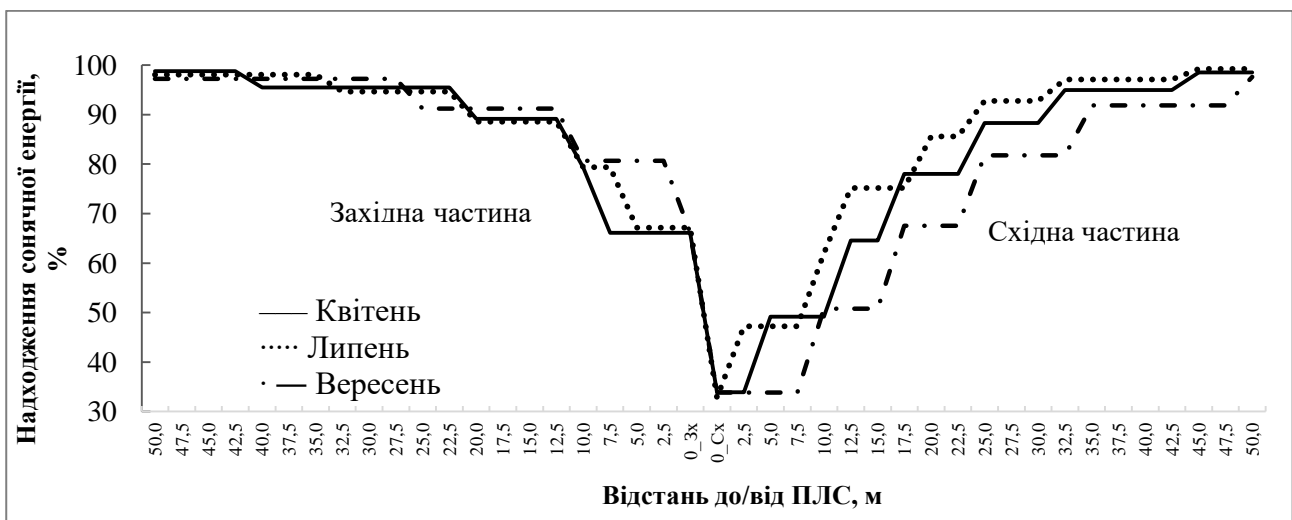
За добу впродовж вегетаційного періоду східна частина поля в порівнянні з лісовою смугою на ділянці 0–2,5H отримує сонячної енергії на 13,8 % менше від західної частини поля та на 24,2 % менше проти відкритого поля (рис. 5). Кількість енергії, що надходить на поле, залежить від напрямку й висоти лісової смуги, часового періоду доби, а також пори року. Якщо лісова смуга розміщена в напрямку з півдня на північ, то в першій половині дня сонце освітлює східну частину захисного насадження, а в другій половині – західну. Кількість енергії приблизно розподіляється порівну. Якщо смуга розміщена в напрямку зі сходу на захід, то впродовж доби освітлюється переважно південний бік. За висоти полезахисного насадження 20 м поле з північного боку на відстані 10 м від лісової смуги прямим сонячним світлом не опромінюється взагалі, або лише декілька годин зранку і ввечері в червні – липні. Освітлення у разі розміщення лісових смуг під певними кутами відносно напрямків зміни широти та довготи має проміжний рівень освітлення між напрямками Південь-Північ і Захід-Схід.



**Рис. 3 – Довжина тіні, сформованої деревами основної ПЛС у весняний період року (III – березень, IV – квітень, V – травень) упродовж доби: а – західна частина смуги; б – східна частина смуги**



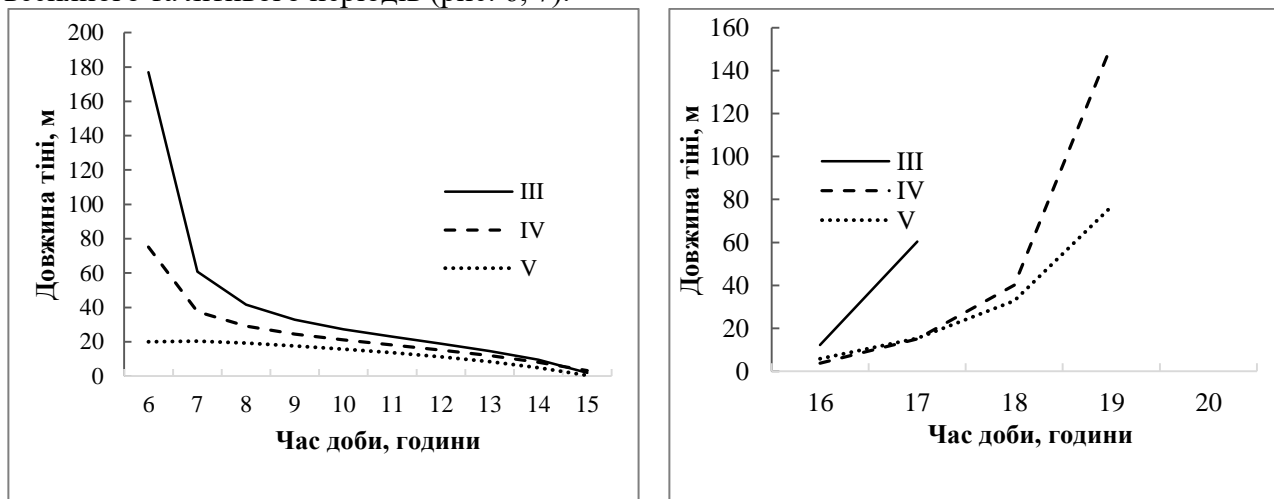
**Рис. 4 – Довжина тіні, сформованої деревами основної ПЛС у літній період року (VI – червень, VII – липень, VIII – серпень) упродовж доби: а – західна частина смуги; б – східна частина смуги**



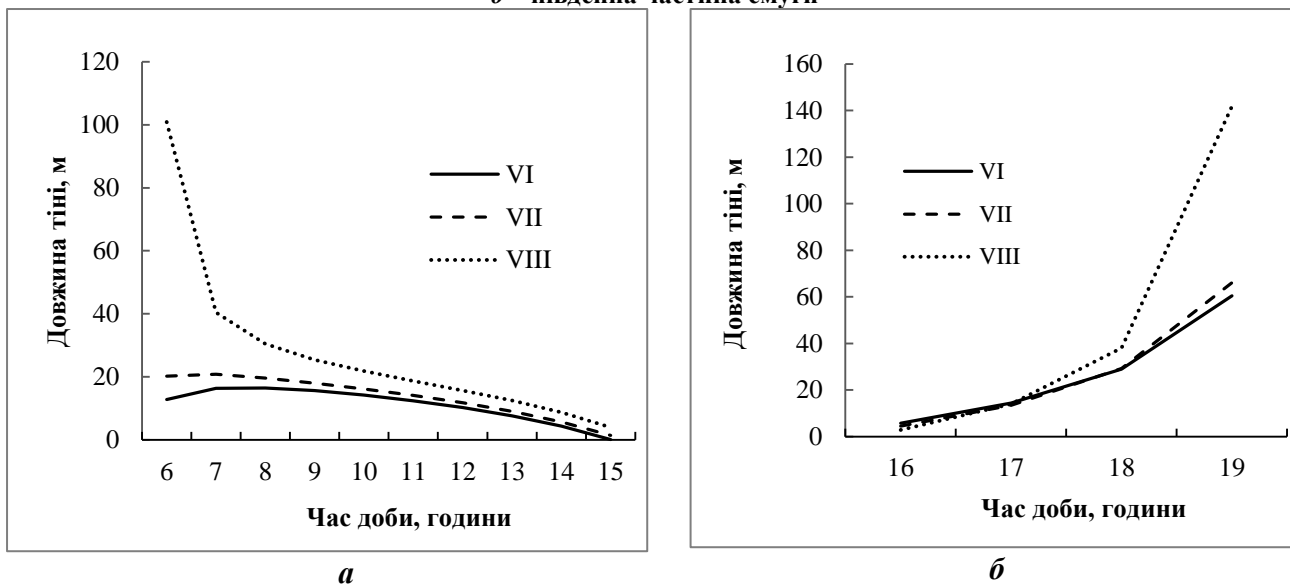
**Рис. 5 – Змодельоване надходження сонячної енергії в зоні пригнічення сільськогосподарських культур на відстані до 50 м від основної ПЛС (2,5H)**

Формування тіні та її рух упродовж світлового дня призводять до нерівномірного розподілу світла та енергії в зоні протяжністю  $2,5H$  ПЛС. Так, навесні (квітень – травень) із західної частини смуги на відстані  $0,5H$  на поверхню землі надходить 68,8 % світла, на відстані  $1H$  – 89 %;  $1,5H$  – 95,5 %;  $2H$  – 96 %;  $2,5H$  – 98,8 %. На східній частині ПЛС розподіл має такий вигляд:  $0,5H$  – 43 %;  $1H$  – 71,3 %;  $1,5H$  – 85 %;  $2H$  – 95 %;  $2,5H$  – 97,6 %. Таким чином, надходження сонячної радіації на ділянку поля значно зменшується до частини приузлисного простору лісової смуги  $1,5$ – $2H$ , тобто на відстань від насадження 40 м при середній висоті дерев – 20 м.

Зміну довжини тіні, яку формує допоміжна ПЛС упродовж доби, змодельовано для весняного та літнього періодів (рис. 6, 7).



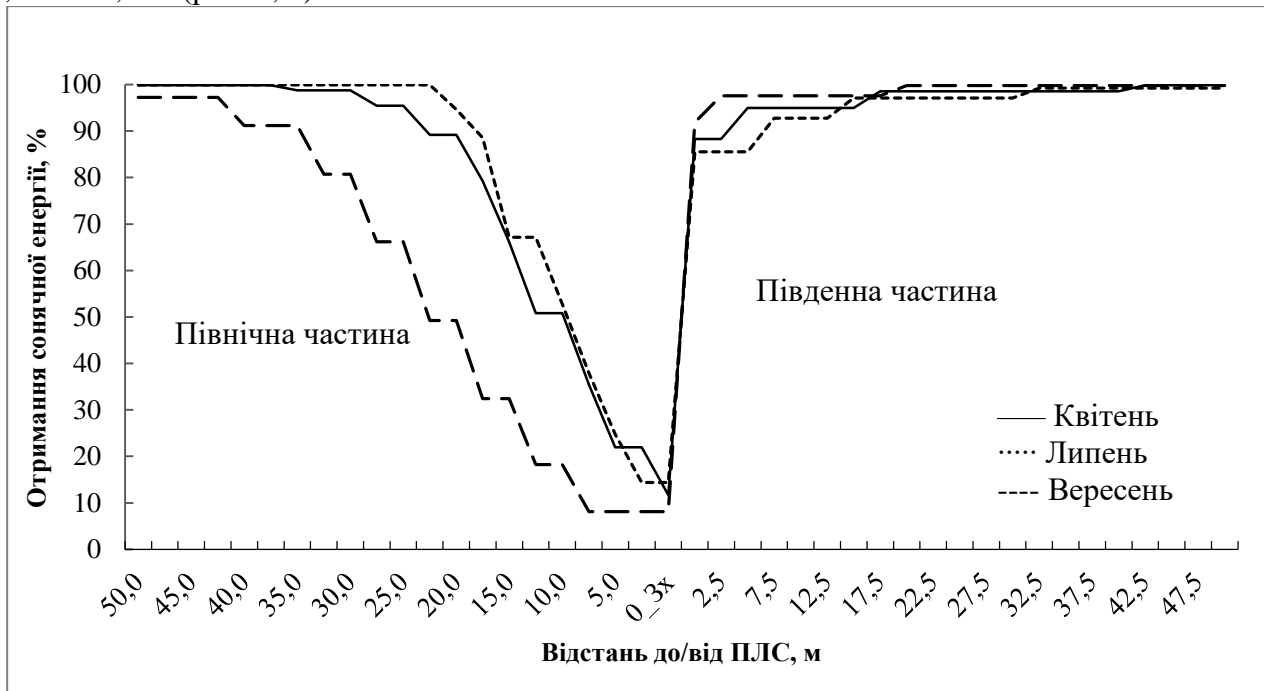
**Рис. 6 – Довжина тіні, сформованої деревами допоміжної ПЛС у весняний період року (III – березень, IV – квітень, V – травень) упродовж доби: а – північна частина смуги; б – південна частина смуги**



**Рис. 7 – Довжина тіні, сформованої деревами допоміжної ПЛС у літній період року (VI – червень, VII – липень, VIII – серпень) упродовж доби: а – західна частина смуги; б – східна частина смуги**

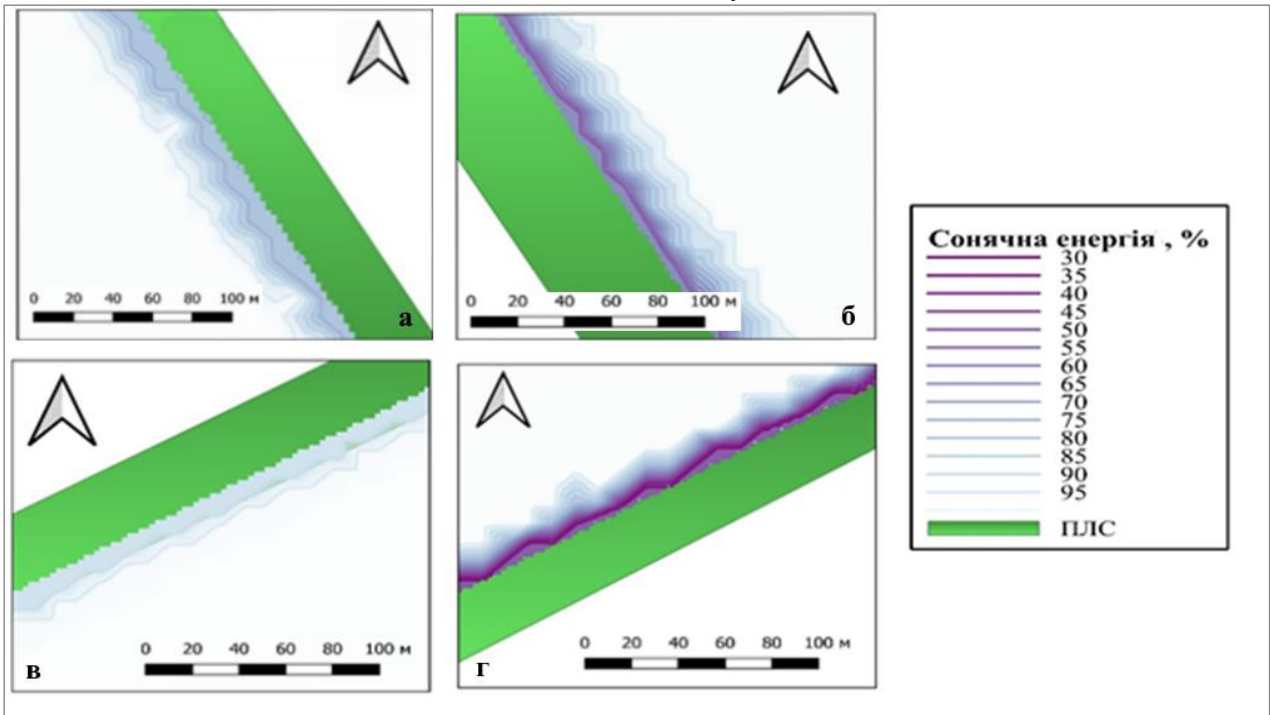
За умови розміщення ПЛС зі сходу на захід (зазвичай це – допоміжні ПЛС) південна частина присмугових полів отримує значно більше енергії та практично не перебуває в затіненні (96,9 % світла у порівнянні з відкритим полем). Північна частина навесні отримує менше сонячної енергії на 25 %; влітку – на 17 %; восени (вересень) – на 42 %. Територія поля в північній частині захисного насадження має різні рівні освітлення: на ділянках до

0,5H – 28,4 %; 1H – 71 %; 1,5H – 94 %; 2H – 99 %; 2,5H – 99 %. Натомість ділянки з південного боку мають такий розподіл: 0,5H – 92 %; 1H – 96,7 %; 1,5H – 98,5 %; 2H – 99 %; 2,5H – 99,8 % (рис. 8, 9).



**Рис. 8 –** Моделювання надходження сонячної енергії в зоні пригнічення сільськогосподарських культур до 50 м від допоміжної ПЛС (2,5H)

Отже, південні ділянки практично не перебувають у тіні. Негативний ефект від затінення сільськогосподарських культур відсутній. На таких ділянках поля не потрібно впроваджувати особливих агротехнологій з уведення тіневитривалих культур. Негативний вплив насаджень на відстані до 2,5H з південного боку ПЛС є мінімальним.



**Рис. 9 –** Моделювання розподілу сонячної енергії відносно відстані від ПЛС та їхнього просторового розміщення: а – затінення із західної частини смуги; б – затінення зі східної частини смуги; в – затінення з південної частини смуги; г – затінення з північної частини смуги



Фітомаса кукурудзи збільшувалася в міру збільшення відстані від ПЛС від 0 до 25,1 т·га<sup>-1</sup> (рис. 10). Різде збільшення фітомаси зафіксовано на відстані 0–30 м від ПЛС, що відповідає 1,5–2Н. Під час регресійного аналізу виявлено, що на 89–97 % ( $R^2 = 0,97$ ,  $p = 0,05$ ) варіювання показника надземної фітомаси кукурудзи залежить від відстані до ПЛС (для проміжку 0–1,5Н) (рис. 11).

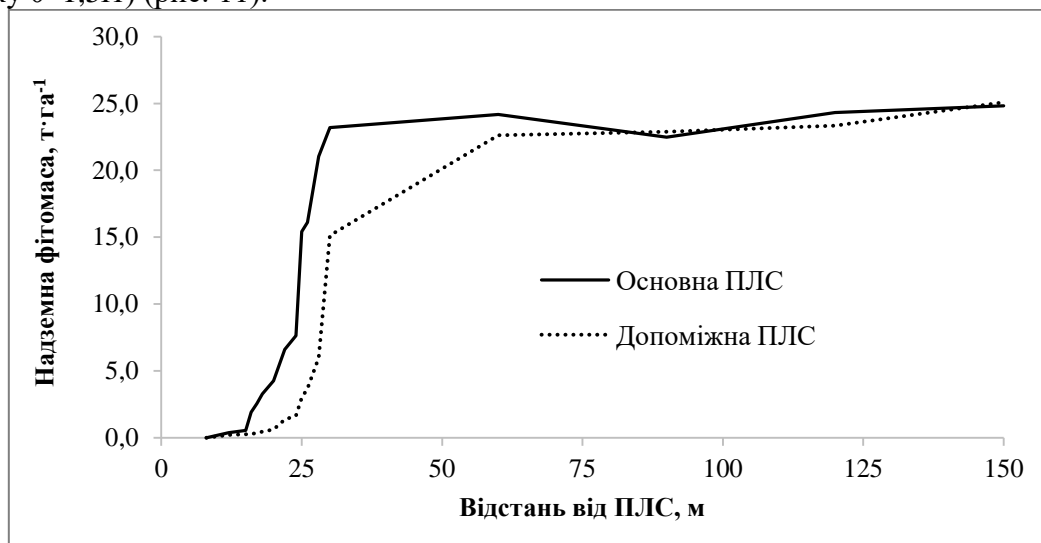


Рис. 10 – Розподіл фітомаси кукурудзи залежно від відстані від ПЛС

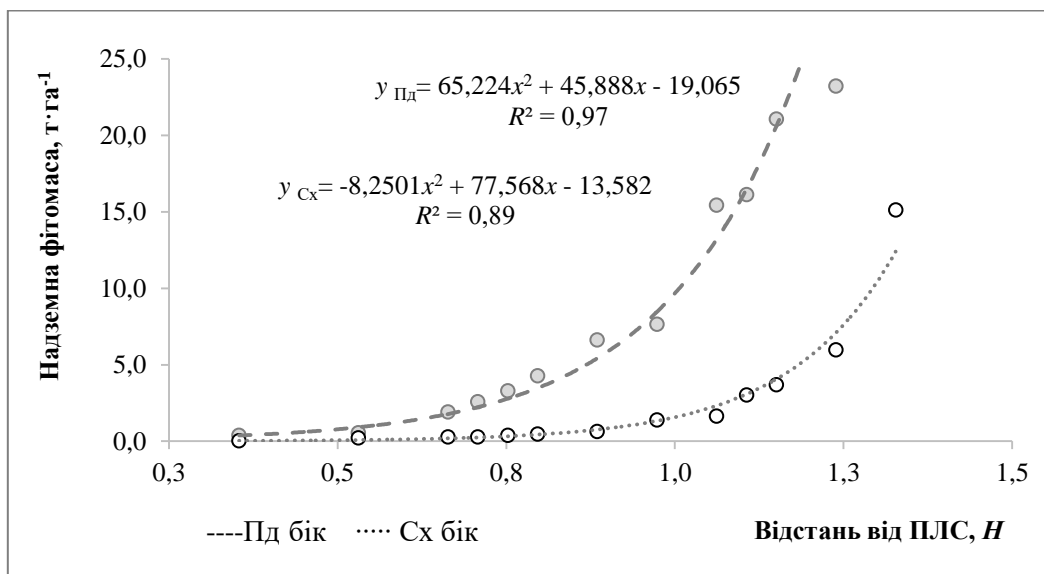


Рис. 11 – Зміни фітомаси кукурудзи в зоні пригнічення впливу основної (Пд – південний бік ПЛС) та допоміжної (Сх – східний бік ПЛС) лісових смуг

В. О. Бодров (Bodrov 1937) зазначав, що у зоні зниження врожайності вздовж узлісся лісових смуг велике значення має фактор затінення. Зазвичай у світлолюбних сільськогосподарських рослин зниження врожайності відбувається на значній частці території. Наприклад, у соняшника зона пригнічення може сягати 20 м, у жита – не перевищує 10 м, а у пшениці зона затінення взагалі майже відсутня.

На нашу думку, виокремлювати зони пригнічення в абсолютних значеннях не є коректним, оскільки встановлено, що вони формуються залежно від висоти насадження та проєкції крони у бік поля.

Г. М. Висоцький (Vysotskiy 1983) у розділі «Практичних підходів» лісової пертиненції називав зону пригнічення «тіньовим боком», або ж, урахувавши інші особливості мікрокліматичних показників, – «тіньовим узліссям». Такий вплив узлісної частини

пояснюється періодичним відбиттям світлових променів і підвищенням температури із сонячного боку.

Із південного боку захисного насадження ширина зони пригнічення такої сільськогосподарської культури, як кукурудза, становить 22–25 м, тобто до  $1,2H$ , а зі східної частини смуги –  $1,5H$  (див. рис. 11).

Під час кореляційного аналізу виявлено прямий сильний зв'язок між зміною фітомаси кукурудзи на облікових ділянках і надходженням сонячної енергії на різних відстанях від ПЛС (для східного боку лісової смуги  $r = 0,74$ ;  $p = 0,05$ , для південного  $r = 0,8$ ;  $p = 0,05$ ). Суттєвий вплив від затінення виявлено до відстані 30–35 метрів від ПЛС (починаючи з проєкції крони дерев у лісовій смугі).

**Висновки.** Для типових щільних ПЛС Лівобережного Лісостепу зона суттєвого впливу затінення поля деревами ПЛС у середньому становить  $1,2$ – $1,5H$ . Найбільший вплив затінення виявлено з північного боку лісової смуги, найменший – з південного.

Фітомаса вибагливої до умов освітлення сільськогосподарської культури – кукурудзи – зменшується на відстані 0–30 м ( $1,5H$ ) від ПЛС, а на відстані понад 40 м ( $2H$ ) від ПЛС – суттєво збільшується відносно середніх значень на полі.

В основних позахисних лісових смугах частка світла, що надходить на поверхню землі, зростає на відстані від 0,5 до  $2,5H$  із західної частини смуги від 68,8 до 98,8 %, а зі східної – від 43 до 97,6 %. Південна частина присмугових полів біля типових допоміжних лісових смуг отримує значно більше енергії та практично не перебуває в затіненні (96,9 % проти відкритого поля). Північна частина отримує на 25 % менше сонячної енергії навесні; на 17 % –влітку; на 42 % –восени (вересень).

#### ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Abakumova, L. I. and Trubakova, K. Y. 2017. Structural peculiarities of the root systems of woody plants in protecting plantations dry steppe. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 221: 79–90 (in Russian). DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.79–90

Abdalla, Y. Y. and Fangama, I. M. 2015. Effect of shelterbelts on crop yield in Al-Rahad Agricultural Scheme, Sudan. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 4 (7): 1–4.

Bevz, H. P., Fylchakov, P. F., Shvetsov, K. Y., Yaremchuk, F. P. 1972. Handbook of elementary mathematics. Kyiv, Naukova Dumka, 528 p.

Bodrov, V. A. 1937. Field-protective forestation. Moscow, 268 p. (in Russian).

Bortsov, A. V. and Potovskaia, E. Y. 2013. Determining the intensity of solar radiation for an inclined collecting surface. *Bulletin of National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”*. Series: Energy: reliability and energy efficiency, 59: 34–39 (in Russian).

Dupraz, C., Wolz, K., Lecomte, I., Talbot, G., Vincent, G., Mulia, R., Bussière, F., Ozier-Lafontaine, H., Andrianarisoa, S., Jackson, N., Lawson, G., Dones, N., Sinoquet, H., Lusiana, B., Asmara, D., Domenicano, S., Reyes, F., Gosme, M., Van Noordwijk, M. 2019. Hi-sAFe: A 3D agroforestry model for integrating dynamic tree–crop interactions. *Sustainability*, 11: 2293. <https://doi.org/10.3390/su11082293>

Feygelson, E. M. and Krasnokutskaya, L. D. 1978. Solar radiation streams and clouds. Leningrad, Gidrometeoizdat, 157 p. (in Russian).

Godunov, S. I. and Godunova, E. I. 2008. The state of the depression zone of protective forest belts, depending on their design. *Vestnik of the Stavropol state University*, 57: 55–60 (in Russian).

Gorchakova, I. A. 2000. Parametrization of integral solar radiation fluxes. *Izv. RAS. Atmospheric and ocean physics*, 36 (3): 376–386 (in Russian).

Gordeev, A. S. and Pridorogin, M. V. 2017. Available solar energy and the relief of the Earth. *Don Agrarian Science Bulletin*, 3 (39): 47–55 (in Russian).

Jørgensen, S. E. (Ed.). 2009. Ecosystem Ecology. Denmark, Academic Press, 521 p.

Kowalchuk, T. E. and de Jong, E. 1995. Shelterbelts and their effect on crop yield. *Can. J. Soil Sci.*, 75: 543–550.

Lenobl, Zh. 1990. Transfer of radiation scattering and absorbing atmospheres: Standard methods of calculation. Leningrad, Gidrometeoizdat, 264 p. (in Russian).

Lytovchenko, V. H. and Strikha, M. V. 2015. Solar energy: agenda for the world and Ukraine. Kyiv, K.I.S., 40 p. (in Ukrainian).

Manaenkov, A. S. and Abakumova, L. I. 2015. Increase in efficiency of field-protective forestations in critical droughty regions of Russia. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management, 4(28): 73–83.

Margaylik, G. I. and Kosumbekov, A. 1976. Afforestation in the Western Pamirs. Forestry, II: 67–68 (in Russian).

Mayrinck, R. C., Laroque, C. P., Amichev, B. Y., Van Rees, K. 2019. Above- and below-ground carbon sequestration in shelterbelt trees in Canada: a review. Forests, 10: 922. <https://doi.org/10.3390/f10100922>

Mize, C. W., Brandle, J. R., Schoeneberger, M. M., Bentrup, G. 2008. Ecological Development and function of shelterbelts in Temperate North America. In: Advances in Agroforestry. Berlin, Germany, Springer Science and Business Media LLC, Vol. 4: 27–54. DOI: 10.1007/978-1-4020-6572-9\_3

Morhart, C., Rosskopf, E., Nahm, M., Kahle, H.-P., Albert-Ludwigs. 2019. The dark side of agroforestry: Modelling shadow projections based on 3D data. p. 837.

Nadein, S. V. 2005. Agroecological influence of forest protective plantations on the phytosanitary state of agricultural crops and productivity of grain-grass crop rotation in agrolandscapes of the Forest-Steppe Central Black Earth Lands. Extended abstract of PhD thesis. Kursk, All-Russian Scientific Research Institute of Agriculture and protection of soil from erosion, 26 p. (in Russian).

Obraztsova, Z. G. 2003. Forest meteorology. Kharkiv, Kharkiv National Agrarian University, 108 p. (in Ukrainian).

Onyewotu, L. O. Z., Oigirigi, M. A., Stigter, C. J. 1994. A study of competitive effects between a *Eucalyptus camaldulensis* shelterbelt and an adjacent millet (*Pennisetum typhoides*) crop. Agriculture, Ecosystems & Environment, 51 (3): 281–286. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90139-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90139-2)

Ovsyanikov, A. S., Zhidchina, T. V., Skrinnikova, M. K. 2010. Assessment of photosynthetic activity of fruit, berry and non-traditional crops in connection with crop formation. Michurinsk, Voronezh, Kvarta, 52 p. (in Russian).

Pavlovskiy, Ye. S., Baranov, V. A., Bialyi, O. M. (Eds.). 1985. Methods of system studies of agricultural landscapes. Moscow, All-Union Academy of Agricultural Sciences, 112 p. (in Russian).

Polishchuk, O. P. 2009. Forestry and reclamation efficiency of shelterbelts of different constructions formed by care fellings in the conditions of Kyiv upland region. Extended abstract of PhD thesis. Kyiv, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 19 p. (in Ukrainian).

Qadamov, A. and Ikromov, I. I. 2015. The influence of forest shelterbelt on wind erosion and yield level of potatoes in the Wakhan valley of GBAO. TASHN reports, 4: 23–28 (in Russian).

Shatunova, M. V. 2002. Method of calculation of the solar radiation fluxes in the atmosphere in view of the interaction of radiation and cloud cover. Extended abstract of PhD thesis. Moscow, 20 p. (in Russian).

Sydorenko, S. V. 2019. Agroecology impact of shelterbelts of their current stage. In: Forest reproduction and forest reclamation in Ukraine: origins, current state, current challenges and prospects in the Anthropocene. Proceedings of the International scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Forest Reproduction and Forest Reclamation (Kyiv, 6-8 November, 2019). Kyiv, Lira-K Publishing House, p. 135–136 (in Ukrainian).

Sydorenko, S. V. and Sydorenko, S. H. 2019. Current status and growth of shelterbelts in the Kharkiv region and their meliorative efficiency. Forestry and Forest Melioration [Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya], 133: 39–53 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.39>

Vysotsky, G. N. 1983. Protective afforestation. Kiev, Naukova dumka, 208 p. (in Russian).

Yascheritsina, L. A. and Bondarenko, I. V. 1988. Spatial distribution of root systems of the stand in sheltered forest belts of the dry steppe. Modern issues of field protection afforestation [VNIALMI], 3(95): 69–77 (in Russian).

Sydorenko S. V.<sup>1</sup>, Korsovetskyi V. O.<sup>1</sup>, Sydorenko S. H.<sup>1</sup>, Hladun H. B.<sup>2</sup>

#### SEASONAL AND DAILY FORMATION OF THE SHADING ZONE IN THE EDGE PART OF DENSE FIELD SHELTERBELTS

<sup>1</sup>Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

<sup>2</sup>Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko

Field shelterbelts increase the overall productivity of agricultural lands. However, their edge parts have a negative impact on the growth and development of crops due to the shadow created by the crowns. The aim of the study was to discover diurnal and seasonal variations in lighting and shadow formation depending on the shelterbelt characteristics as well as to find out how variations in the lighting regime of the edge area influences the biomass produced by light-demanding crops. Theoretical calculations of solar radiation parameters were used in the research. Calculations were performed for typical primary and secondary dense shelterbelts. The theoretical calculations were compared with the field data on the crop (corn) phytomass distribution in the field. The indicators of seasonal and daily dynamics of shadow formation were found out for typical dense shelterbelts within Left-Bank Forest-Steppe. The degree of solar energy shortfall on the surface of the field was calculated depending on the distance to shelterbelts and their spatial allocation. It was determined that a significant impact of shading from shelterbelts varies from 1.2 to 1.5H, where H is an average tree height in the shelterbelt. The length of the shading zone depends on the protective height of the stand and its spatial allocation: the strongest shading effect is observed on the northern side of the shelterbelt, the slightest, on the southern side.

**Key words:** shelterbelts, shading, depression zone, light, shadow, energy, height, competition, phytomass.

Сидоренко С. В.<sup>1</sup>, Корсовецкий В. А.<sup>1</sup>, Сидоренко С. Г.<sup>1</sup>, Гладун Г. Б.<sup>2</sup>

**СЕЗОННОЕ И СУТОЧНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ ЗАТЕНЕНИЯ В ПРИОПУЩЕННОЙ ЧАСТИ ПЛОТНЫХ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС**

<sup>1</sup>*Український науково-дослідницький інститут лісного господарства і агролісомеліорації імені Г. Н. Высоцького*

<sup>2</sup>*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко*

Лесные полосы способствуют повышению общей производительности аграрных угодий. Однако на приопущенных участках лесных полей создаются неблагоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур из-за затенения кронами деревьев. Цель работы заключалась в определении суточных и сезонных изменений освещения и формирования тени в зависимости от характеристик полезащитных лесных полос (ПЛП) и установлении влияния изменений светового режима приопущенных участков на формирование фитомассы светолюбивых сельскохозяйственных культур. При исследовании использованы теоретические расчеты параметров солнечного излучения. Расчеты выполнены для типичных основных и вспомогательных ПЛП плотной конструкции. Теоретические вычисления сравнивали с полевыми данными распределения фитомассы кукурузы на поле. Для типичных плотных ПЛП Левобережной Лесостепи установлены показатели сезонной и суточной динамики формирования тени деревьев. Рассчитана степень недополучения поверхностью поля солнечной энергии в зависимости от расстояния от полезащитных полос и их пространственного размещения. Установлено, что затенение ПЛП имело существенное влияние на культуру на расстоянии 1,2–1,5 высоты деревьев в полезащитной полосе. Протяженность зоны затенения зависит от защитной высоты древостоя и пространственного размещения ПЛП: наибольшее влияние затенения отмечено на северной стороне лесной полосы, незначительное – на южной.

**Ключевые слова:** полезащитные полосы, затенение, зона депрессии, свет, тень, энергия, высота, конкуренция, фитомасса.

*E-mail: svit23sydorenko@gmail.com; sydorenkosg@uriffm.org.ua; gladun\_g@ukr.net*

*Одержано редколлегією 18.05.2020*